

CARACTERÍSTICAS METALOGENÉTICAS DE EUREKA WEST, PRINCIPAL CLAVO MINERALIZADO DE LA VETA EUREKA, DISTRITO CERRO NEGRO, MACIZO DEL DESEADO

Conrado PERMUY VIDAL¹, Diego M. GUIDO¹, Pilar MOREIRA¹, Francisco J. RÍOS² y Joan Carles MELGAREJO³

¹ CONICET y Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Instituto de Recursos Minerales (INREMI), La Plata, Argentina. Email: conradopermuyvidal@gmail.com

² Laboratório de Inclusões Fluidas e Metalogênese, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

³ Departamento de Mineralogía y Cristalografía, Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

RESUMEN

El Distrito Cerro Negro ubicado en el sector noroccidental del Macizo del Deseado, se ha convertido en uno de los principales proyectos epitermales a nivel mundial con recursos auríferos que alcanzan ~6.7 Moz Au eq. Está conformado por un conjunto de vetas epitermales ricas en Au y Ag alojadas en vulcanitas jurásicas del Complejo Bahía Laura. En el oeste del distrito, las vulcanitas están agrupadas en la Sección Inferior de composiciones intermedias y alojan las principales mineralizaciones epitermales de Au-Ag. Por encima y en discordancia yace la Sección Superior, de naturaleza ácida. La veta Eureka se destaca como una de la mineralizaciones más importantes de la región, alojada en una falla NO de ~5 km de longitud y espesores de hasta 20 metros. El segmento denominado Eureka West constituye un clavo mineralizado que aloja el 25% de los recursos del distrito, compuesto por múltiples pulsos de rellenos agrupados en 4 episodios principales. Estos se interpretan producto de la evolución de dos eventos hidrotermales y una etapa tardía tectónica-supergénica. La mineralización de alta ley de Au-Ag tuvo lugar durante un primer evento hidrotermal vinculado con el vulcanismo andesítico-dacítico (157 a 156 Ma). Posteriormente, se registra un segundo evento hidrotermal de menor temperatura y amplio desarrollo, con manifestaciones de tipo hot springs en superficie, posiblemente vinculado al vulcanismo de composición riolítica. De manera tardía, el clavo Eureka West fue parcialmente erosionado y cubierto por depósitos post-minerales jurásicos. Consecuentemente, procesos tectónicos-supergénicos tardíos permitieron una profunda oxidación y reconcentración de los metales preciosos.

Palabras clave: *Epitermal, Vetas de Au-Ag, Jurásico, Patagonia*

ABSTRACT

Metallogenic features of Eureka West, main ore shoot of the Eureka vein, Cerro Negro district, Deseado Massif

The Cerro Negro mining district is located in the northwestern margin of the Deseado Massif. It contains a group of epithermal Au-Ag vein deposits with estimated reserves of 6.7 Moz Au eq., being one of the most important recent epithermal discoveries in the world. It comprises some Au-Ag rich vein systems hosted in the Bahía Laura Volcanic Complex of Jurassic age. In the western part of the district, volcanic rocks are grouped into the Lower Section of intermediate composition which hosts most of Au-Ag high grade veins. Above this unit, a district scale discordance places the acidic in composition Upper Section. Eureka vein is one of the most important mineralization in the region hosted in NW major fault of 5 Km long and reaching up to 20 meters width. Eureka West constitutes a high grade ore shoot which contains over 25% of the district resources, composed of multiple filling stages grouped into 4 main episodes. These were interpreted due to the evolution of two main hydrothermal events and a late tectonic-supergene stage. High Au-Ag mineralization took place during the first hydrothermal event related to andesitic-dacitic volcanism (157-156 Ma). Lately, the second widely distributed hydrothermal event overlaps with lower temperatures and hot spring deposits at surface, possible linked to rhyolitic volcanism. During the last event, the Eureka West ore shoot was partly eroded and covered by Jurassic post-mineral deposit. Consequently, tectonic and supergene processes led to deep oxidation and re-concentration of precious metals.

Keywords: *Epithermal, Au-Ag veins, Jurassic, Patagonia*

INTRODUCCIÓN

El Macizo del Deseado ha sido intensa-

mente explorado por metales preciosos durante los últimos 30 años. En la actualidad, existen más de 50 proyectos epiter-

males de tipo intermedia a baja sulfuración en distintas etapas de exploración (Fig. 1), con cinco minas activas (Cerro

Vanguardia, San José, Manantial Espejo, Lomada de Leiva y Cerro Negro), una mina en etapa de cierre (Mina Martha) y dos minas en etapas de construcción (Cerro Moro y Don Nicolás). La producción desde 1998 hasta 2013 inclusive alcanza las 4,8 Moz de Au y 100,5 Moz de Ag (Cuadro 1).

El distrito Cerro Negro, ubicado en el sector noroccidental del Macizo del Deseado, es operado por la empresa Goldcorp Inc. desde 2010 y se ha convertido en uno de los principales yacimientos epitermales a nivel mundial, con recursos auríferos que alcanzan ~6.7 Moz Au eq. (www.goldcorp.com). El depósito entró en producción a fines del 2014 y las principales mineralizaciones del distrito se encuentran en el sector oeste, incluyendo a Eureka y Mariana-San Marcos, sistemas epitermales vetiformes de tipo baja a intermedia sulfuración alojados en vulcanitas jurásicas (Lopez 2006, Shatwell *et al.* 2011).

La veta Eureka está alojada en una falla principal de unos 5 km de longitud y rumbo NO (acimut N300° a 320°), con desarrollo de una zona de transferencia de rumbo E-O, producto de una de cinemática normal-sinistral (Lopez 2006). Este autor, en función de las características mineralógicas y texturales, propone una profundización del ambiente hidrotermal desde un extremo más somero al SE, donde se registran depósitos de tipo *hot springs* (Guido y Campbell 2012), hasta el extremo noroeste interpretado como el más profundo. En este último sector se aloja el segmento denominado Eureka West, correspondiente a un clavo mineralizado (*ore shoot*) que contiene el 25% (2 Moz Au eq.) del total de los recursos del distrito (Shatwell *et al.* 2011).

El objetivo de este trabajo es presentar las principales características metalogénicas de Eureka West mediante un análisis detallado de la mineralogía, texturas, características geoquímicas, alteraciones hidrotermales, geocronología, inclusiones fluidas e isótopos estables, en una selección de muestras de testigos de perforación tomadas a lo largo de este clavo mineralizado. A partir de estos estudios se propone un modelo evolutivo para la for-

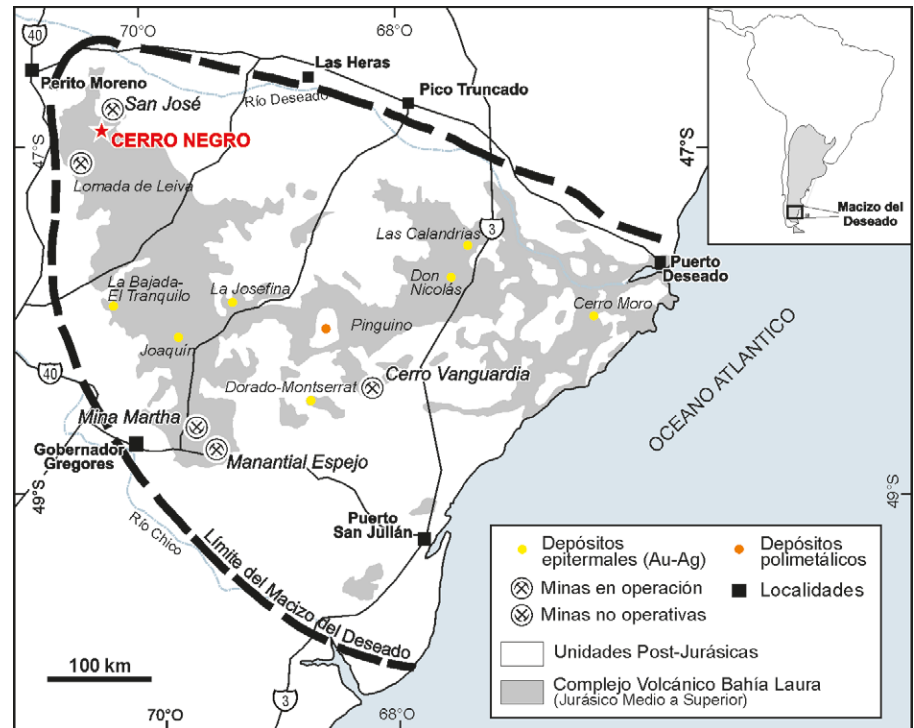


Figura 1: Mapa de la Patagonia con la distribución de las vulcanitas jurásicas y la posición del Macizo del Deseado (modificado de Pankhurst *et al.* 1998).

CUADRO 1: Depósitos productores de Au-Ag del Macizo del Deseado.

Depósito	Tipo	Inicio de producción	Producción		
			Au (Moz)	Ag(Moz)	Ag/Au
Cerro Vanguardia ¹	Vetas epitermales de Au-Ag	1998-activa	3.843	25.10	7
Martha ²	Vetas epitermales de Ag-Au	2001-2012	0.031	23.90	776
San José ³	Vetas epitermales de Ag-Au	2008-activa	0.544	37.84	70
Manantial Espejo ⁴	Vetas epitermales de Ag-Au	2009-activa	0.291	18.25	63
Lomada de Leiva ⁵	Brechas asociadas a fallas	2010-activa	0.037	-	-
Cerro Negro ⁶	Vetas epitermales de Au-Ag	2014-activa	0.152	-	-

¹Fernández *et al.* (2008); www.anglogold.com

²Páez *et al.* (2008); www.coeur.com

³www.minerasantacruz.com

⁴www.panamericansilver.com

⁵www.patagoniagold.com

⁶www.goldcorp.com

mación de este segmento y su vinculación con el vulcanismo.

MARCO GEOLÓGICO

La denominada Provincia Silícea Ígnea Chon Aike (Pankhurst *et al.* 1998, Pankhurst *et al.* 2000, Riley *et al.* 2001) abarca desde la Patagonia hasta la Península Antártica y está conformada por grandes volúmenes de rocas volcánicas originadas en un ambiente extensional de retroarco difuso, vinculado con la aper-

tura del Océano Atlántico Sur durante el desmembramiento de Gondwana (Richardson y Underhill, 2002). El Macizo del Deseado (provincia de Santa Cruz) abarca un área de 60.000 km² (Fig.1), y este evento está mayormente representado por vulcanitas agrupadas en el Complejo Volcánico Bahía Laura (Fig. 1; Feruglio 1949, Guido 2004) de edad Jurásico Medio a Superior. El Complejo Volcánico Bahía Laura agrupa las formaciones Cerro León y Bajo Pobre (andesitas, dacitas y sus equivalentes intrusivos), Chon Aike

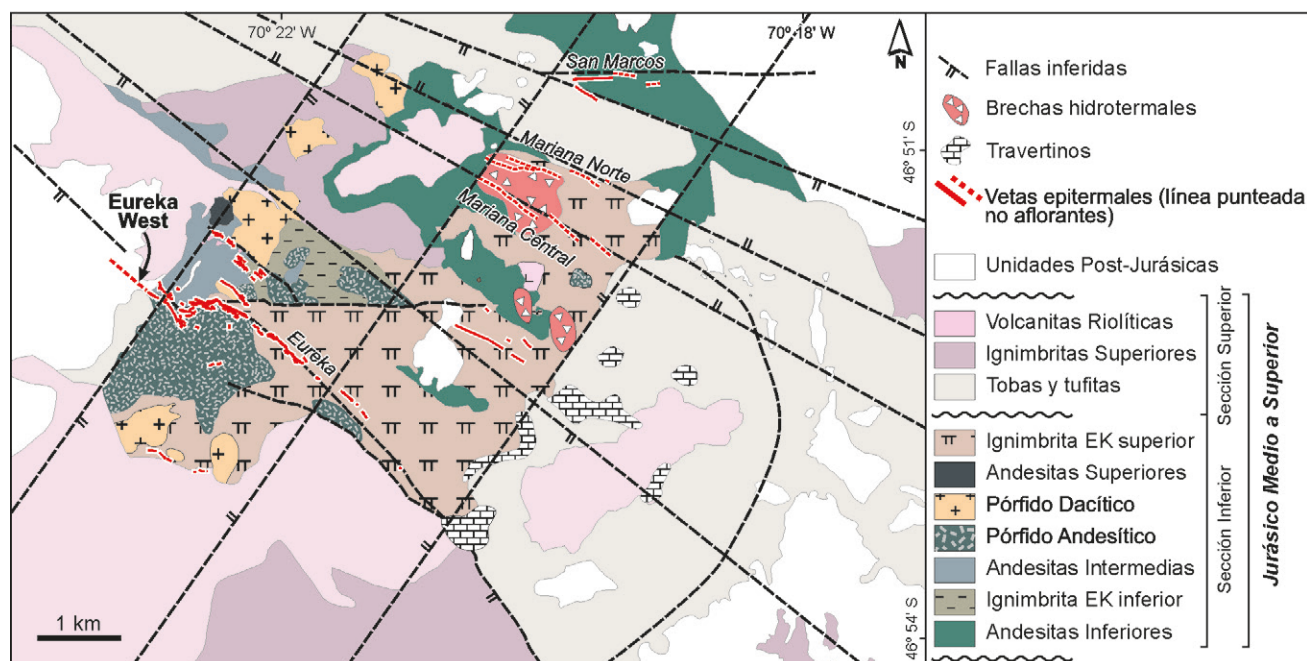


Figura 2: Mapa geológico del oeste del distrito Cerro Negro, con la ubicación de las mineralizaciones (modificado de Lopez 2006 y Guido y Campbell 2012).

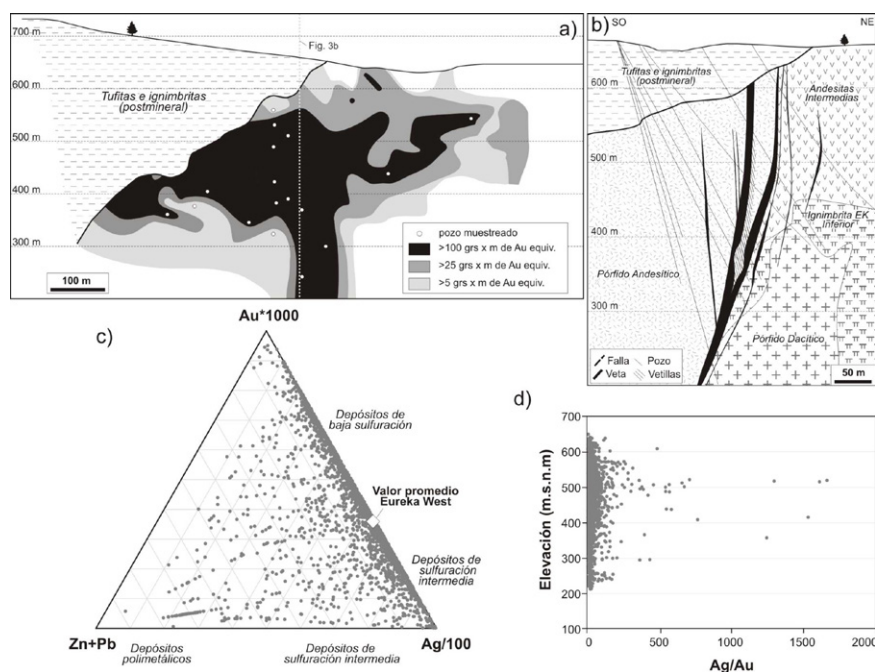


Figura 3: a) Sección longitudinal de Eureka West con la ubicación de los pozos seleccionados; b) Interpretación geológica de una sección representativa para Eureka West; c) Diagrama triangular Au x 1000 - Ag/100 - Zn+Pb, modificado de Albinson *et al.* 2001; d) Diagrama Ag/Au vs. Altura.

(riodacitas y riolitas) y La Matilde (depósitos volcanoclásticos re trabajados de composiciones riolíticas), con relaciones estratigráficas complejas (Echeveste *et al.* 2001, Guido 2004).

En el oeste del distrito Cerro Negro, la

cubierta volcánica jurásica está controlada por estructuras de tipo hemigrábenes de rumbo NO-SE (Fig. 2) con espesores mayores a 400 metros sobre un basamento metamórfico no aflorante de edad Paleozoico superior (Permuy Vidal *et al.*

2014a). Permuy Vidal *et al.* (2014c) ubicó a las volcanitas Jurásicas del área en dos ciclos temporal y composicionalmente diferenciables (Sección Inferior y Superior). La Sección Inferior agrupa rocas genéticamente relacionadas a través de una línea evolutiva co-magmática, de composiciones mayormente intermedias (andesíticas a dacíticas). Se inicia con una sucesión de coladas de lavas andesíticas asociadas a depósitos autoclásticos denominados Andesitas Inferiores, parcialmente cubiertas por la Ignimbrita Eureka Inferior, de composición andesítica/dacítica, representada por una serie de depósitos de flujos piroclásticos moderadamente soldados y de aspecto masivo, intercalados con algunos niveles de surge. Por arriba de esta ignimbrita, se observa un paquete denominado Andesitas Intermedias, conformado por lavas andesíticas masivas a bandeadas, datadas en 159 Ma (U-Pb, Lopez 2006). Intruyendo a la secuencia descrita anteriormente, se destaca un conjunto de cuerpos subvolcánicos someros (Pórpidos Andesíticos y Dacíticos) con edades de 157 a 156 Ma (U-Pb, Lopez 2006). Por arriba de estas unidades, se reconoce un conjunto de afloramientos discontinuos de coladas de poco espesor que fueron agrupados como Andesitas Superiores. Finalmente, hacia

ANEXO: Datos de microsonda electrónica.

	n	S	Se	As	Sb	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd	Bi	In	Ag	Au	Total
Polibasita-Pearceita	18														
mínimo			12,76	0,00	1,01	0,00	0,00	5,74	0,00	0,00	n/a	0,00	n/a	63,03	n/a 94,73
máximo			15,35	0,41	8,00	8,89	0,13	10,54	0,26	0,30	n/a	0,75	n/a	71,99	n/a 98,73
promedio			14,27	0,04	4,31	2,80	0,04	7,44	0,06	0,08	n/a	0,03	n/a	68,31	n/a 97,35
Mckinstryita/Stromeyerita	12														
mínimo			12,06	0,00	0,00	0,00	0,00	15,96	0,00	0,00	n/a	0,00	n/a	40,11	n/a 94,46
máximo		20,47	0,21	0,29	0,25	0,10	44,45	0,22	0,84	n/a	0,80	n/a	69,74	n/a	108,01
promedio		15,25	0,05	0,11	0,02	0,03	31,58	0,06	0,14	n/a	0,18	n/a	52,99	n/a	100,42
Acantita	9														
mínimo		12,55	0,00	0,05	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	n/a	0,00	n/a	79,81	n/a	95,64
máximo		15,97	0,31	0,55	0,00	0,12	0,75	0,16	0,64	n/a	0,56	n/a	83,40	n/a	97,95
promedio		14,06	0,09	0,26	0,00	0,04	0,44	0,06	0,11	n/a	0,21	n/a	81,82	n/a	96,93
Galena	3														
mínimo		12,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	83,00	0,04	n/a	0,00	n/a	0,03	n/a	96,40
máximo		13,41	0,02	0,01	0,05	0,00	0,35	86,19	0,05	n/a	0,00	n/a	0,07	n/a	99,78
promedio		13,22	0,01	0,01	0,02	0,00	0,26	84,58	0,04	n/a	0,00	n/a	0,05	n/a	98,19
Esfalerita	4														
mínimo		31,98	n/a	n/a	n/a	0,03	0,06	n/a	64,53	0,22	n/a	0,00	n/a	n/a	97,71
máximo		32,67	n/a	n/a	n/a	0,62	0,30	n/a	66,55	0,36	n/a	0,04	n/a	n/a	99,29
promedio		32,42	n/a	n/a	n/a	0,28	0,14	n/a	65,69	0,29	n/a	0,02	n/a	n/a	98,82
Electrum/Ag°	32														
mínimo		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0,00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	12,22	0,00	78,49
máximo		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	19,13	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	98,89	87,28	102,43
promedio		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1,27	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	39,45	57,86	98,62

Nota: datos en porcentaje en peso.
n número de análisis, n/a no analizado

el tope de la Sección Inferior, se reconoce una ignimbrita feno-dacítica denominada Ignimbrita Eureka Superior; que se caracteriza por la alternancia de niveles con distinto grado de soldamiento. Permuy Vidal (2014c) indica que las características reportadas para este ciclo volcánico, permiten interpretarlo preliminarmente como relacionado a un aparato volcánico de naturaleza poligenética y posiblemente de larga vida (>3 Ma).

Una importante discordancia erosiva separa la Sección Inferior con la Sección Superior, que es de composición mayormente ácida y sin una relación co-magmática con las unidades previas (Permuy Vidal 2014c). Esta sección se inicia con una serie de depósitos de caída y retrabajamiento, vinculados al desarrollo de sistemas fluviales y lacustres con influencia piroclástica (tobas y tufitas), entre los que se intercalan extensos depósitos de hot spring (Guido y Campbell 2012). Por encima, aflora un conjunto de depósitos piroclásticos de flujo fuertemente soldados que han sido agrupados como Ignimbritas Superiores. Finalmente se desarrolla un conjunto de domos, coladas y diques de lavas (Lavas Riolíticas) que intruye a las unidades

descriptas previamente. Esta parte de la sección marca una declinación en la frecuencia del vulcanismo, que se desarrolla de manera más episódica y relacionada a la evolución de complejos de domos, vinculados a un vulcanismo monogenético (Guido y Cambell 2012, Permuy Vidal 2014c)

METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo fueron seleccionadas 17 perforaciones de diamantina a diferentes profundidades de la sección longitudinal Eureka West (Fig. 3a). Sobre estas perforaciones se realizaron tareas de relequeo y muestreo con el objetivo de llevar a cabo la descripción de los episodios y pulsos mineralizantes. Fueron seleccionadas 110 muestras para caracterizar cada pulso mineralizante mediante técnicas de petrografía (minerales de mena y ganga), SEM-EDS, microsonda electrónica, inclusiones fluidas, isótopos estables y geocronología. Los estudios de microscopía y de imágenes de microscopio electrónico fueron llevados a cabo en el Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos

Minerales, Universidad de Barcelona, España. Asimismo, para la caracterización geoquímica fueron procesados 2253 análisis provenientes de muestras de testigos de perforaciones disponibles a la fecha por parte de la empresa Goldcorp Inc. Las alteraciones hidrotermales fueron interpretadas sobre el perfil “Eureka 150W”, a partir de un trabajo realizado con un espectrómetro portable (ASD TERRASPEC) para la empresa Goldcorp Inc. En total se tomaron mediciones sobre 196 muestras, con un espaciamiento de entre 1 a 3 metros en la zona de la mineralización principal y entre 5 a 20 metros en sectores de roca de caja. En el presente trabajo además se incorporan además estudios petrográficos en muestras seleccionadas, para chequear la información. Los estudios microscópicos y microtermométricos de inclusiones fluidas se realizaron con platinas de calentamiento/enfriamiento Linkam montadas en microscopios ópticos en el Centro de Desarrollo da Tecnologia Nuclear (Brasil) y en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Buenos Aires. Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a los valores de temperatu-

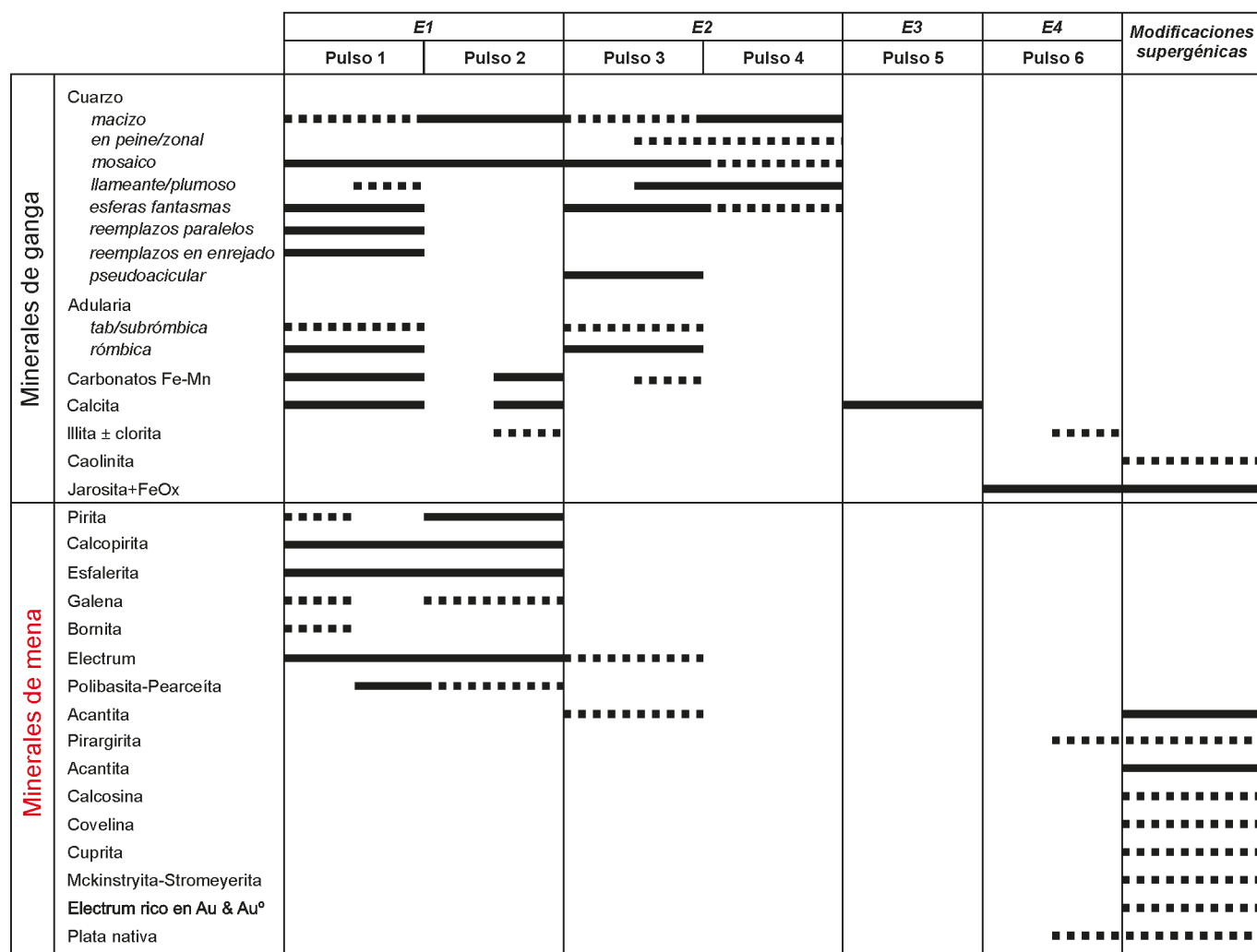


Figura 4: Diagrama paragenético con la mineralogía de pulsos y episodios mineralizantes para Eureka West.

ra de fusión de hielo (T_m) según las tablas de Bodnar y Vityk (1994) para el sistema $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, dado las temperaturas del eutéctico obtenidas cercanas a -22°C . Los estudios de isótopos estables (oxígeno) fueron realizados en el laboratorio comercial ActLabs en Canadá (www.actlabs.com), mediante un espectrómetro Finnigan MAT Delta Gas Isotope Ratio Mass Spectrometer (GIRMS). Para la extracción de oxígeno se utilizaron métodos convencionales según Epstein y Mayeda (1953). Los datos se registran en notación delta como porcentajes por mil en V-SMOW para oxígeno. Para obtener los valores isotópicos de los fluidos hidrotermales en equilibrio con adularia se utilizó la temperatura obtenida en el estudio de las inclusiones fluidas (260°C) y las fórmulas de Zheng (1993).

La datación ^{40}Ar - ^{39}Ar fue preparada y analizada en la Universidad de Auburn (Denver, Estados Unidos). La irradiación de la muestra se llevó a cabo en el reactor del USGS TRIGA, monitoreada con sanidina de Fish Canyon (FC-2). El valor de J para la muestra es de $0,006019 \pm 0,0000060$ (1σ). Para la determinación isotópica el argón fue extraído mediante el calentamiento en forma incremental con un láser de CO_2 . Los resultados fueron tratados estadísticamente mediante el software Isoplot (Ludwig 2003) y ploteados en un diagrama de espectro de edades.

EUREKA WEST

Características generales

Eureka West, ubicada en el extremo noroccidental de la veta Eureka, está com-

puesta por dos ramas principales subparalelas, desarrolladas a lo largo de 650 metros de longitud, con un rumbo NO y una inclinación de 80° a 90° en los niveles someros, pero que va disminuyendo en profundidad (Figs. 2 y 3a, b). Los mayores espesores se registran en las partes más inclinadas de la estructura, alcanzando los 20 metros de potencia (Fig. 3b), como menciona Corbett (2012) para los clavos (*ore shoot*) en fallas lítricas extensionales. Desde un punto de vista estructural, este clavo mineralizado se dispone entre el Pórfido Andesítico en el bloque bajo y una secuencia compuesta por la Ignimbrita Eureka Inferior, Andesitas Intermedias y Pórfidos Dacíticos hacia el bloque alto (Fig. 3b). Hacia el NO, la estructura esta erosionada y cubierta por depósitos post-minerales, con un nivel basal de entre 10

a 20 metros que contiene clastos bandeados de la mineralización epitermal. (Figs. 2 y 3a, b).

La sección longitudinal de la veta revela un clavo mineralizado de alta ley (>100 gr de Au eq. por metro) con una geometría de hongo, extendido a lo largo de 750 metros de longitud entre los niveles 400 a 550 msnm y con una raíz que alcanza los 400 metros de profundidad (Fig. 3a). La mineralización está oxidada en su mayor parte, especialmente hacia el sector sureste (debajo del segmento aflorante), disminuyendo su intensidad hacia el sector noroeste donde el clavo está cubierto por depósitos post-minerales.

La signatura geoquímica de la estructura presenta elevados tenores de Au y Ag ($\text{Ag:Au} < 20:1$; Fig. 3c) con contenidos de metales base que llegan al 1%, lo que permite clasificarlo como un depósito de tipo auroargentífero (Albinson *et al.* 2001) Puntualmente, entre los niveles 400 y 500 msnm se registran elevadas relaciones Ag/Au mayores a 1500:1 (Permuy Vidal 2014; Fig. 3d).

Episodios y pulsos mineralizantes

Eureka West está compuesta por sucesivos pulsos mineralizantes que presentan relaciones variables tanto en sentido vertical como longitudinal. Para este trabajo se identificaron seis pulsos mineralizantes que fueron caracterizados y agrupados en 4 episodios principales (Figs. 4, 5 y 6).

Episodio 1 (E1): Aporta los mayores valores de Au y Ag, y está conformado por dos pulsos (*Pulso 1 y 2*) desarrollados principalmente hacia el bloque bajo de la estructura y en profundidad. El *Pulso 1* está compuesto por bandeados crustiforme-coloforme de cuarzo, adularia, carbonatos (de Ca, Fe-Mn) y sulfuros (Figs. 4 y 5a). Las finas bandas de cuarzo varían en sus tonalidades en función del tamaño grano y en las diferentes texturas de recristalización encontradas (mosaico, musgosa, esferas fantasmas -*ghost spheres*-, llamante y plumosa según Dong *et al.* 1995). Asimismo se reconocen cristales de platycalcita parcial y/o total reemplazados por sílice (texturas *lattice bladed*; *ghost bladed* y *parallel bladed* según Dong *et al.* 1995). Ade-

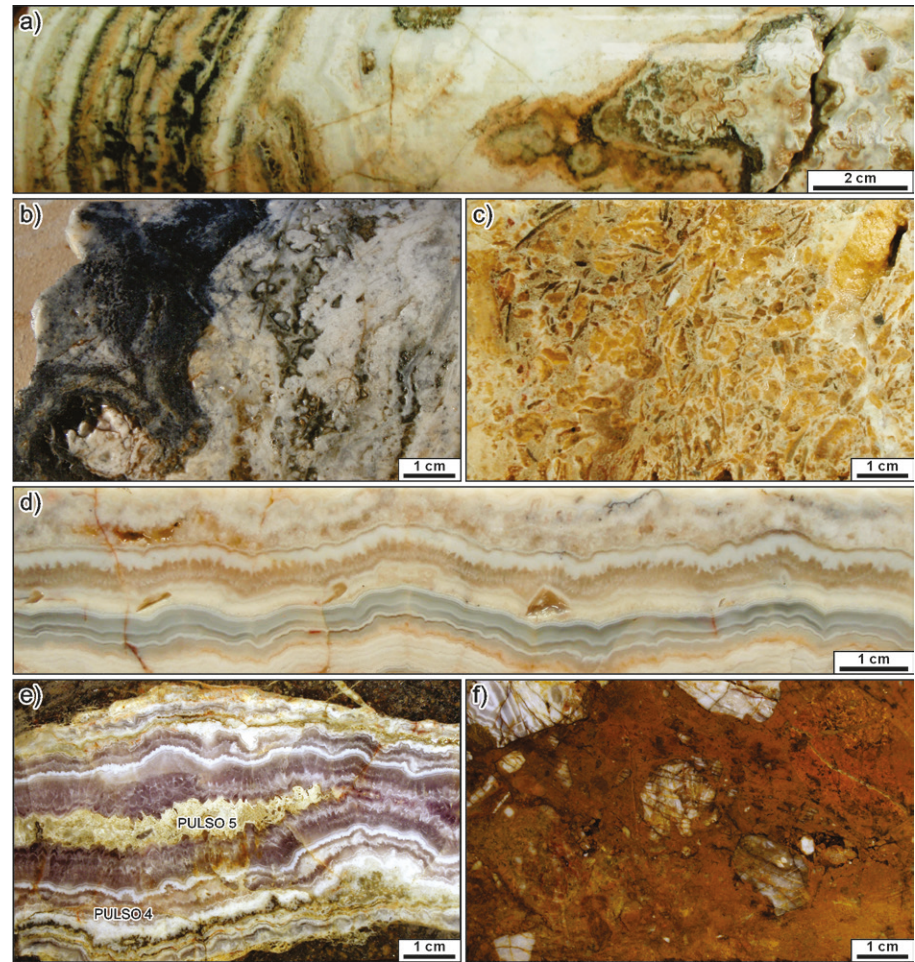


Figura 5: Fotografías de testigos de perforación de los pulsos mineralizantes para Eureka West; a) Pulso 1, bandeado crustiforme-coloforme de cuarzo, adularia rosada (izq.), calcedonia y carbonatos (der.); b) Pulso 1, detalle de bandas oscuras ricas en sulfuros; c) Pulso 2, detalle de brecha con clastos tabulares cementadas por cuarzo y rellenos de óxidos tardíos; d) Pulso 3, bandeado coloforme de calcedonia; e) Pulso 4, brechas de fallas matriz soportadas con fragmentos de veta bandeadas de pulsos previos.

más se observaron textura pseudoacicular y agregados de cuarzo hábito “esferulítico” intercrecidos con calcita, originados a partir de carbonatos de baja temperatura y/o como posibles reemplazos de ceolitas. Las bandas de cuarzo alternan con bandas ricas en adularia tabular de tonalidades rosadas (0,5 mm a 1 cm de longitud), intercrecidos con adularia rómbica (150 a 200 μm), que crecen perpendicularmente a los límites de las bandas.

Los carbonatos, algo más tardíos en esta secuencia, están representados por calcita granular cristalina y carbonatos de Fe-Mn (siderita-rodocrosita) de aspecto masivo, botroidales, plumosos y tabulares que podrían corresponder a reemplazos de silicatos de Mn. Los sulfuros y sulfosales son escasos (1%), y han precipitado en las eta-

pas tempranas, principalmente en finas bandas coloformes junto con arcillas y calcedonia, y/o diseminados en bandas de cuarzo. La mineralización primaria se encuentra a partir de los 350 metros de profundidad en el sector oeste del clavo (Fig. 5b). En los bandeados se presenta de manera temprana escasa pirita (algunas con inclusiones de electrum con 55% de Au), rodeada de esfalerita pobre en Fe y Cd ($< 2\%$ en peso), masas irregulares de calcopirita, escasa bornita y galena (Fig. 6a). Esta asociación es seguida de polibasita-pearceíta, que es el principal mineral portador de plata, rodea a los sulfuros de metales base, y ocupa intersticios entre cristales de cuarzo y/o rellena vetillas. La relación $\text{Sb}/(\text{As}+\text{Sb})$ de las sulfosales varía entre 0 a 1, dentro del rango completo dentro de

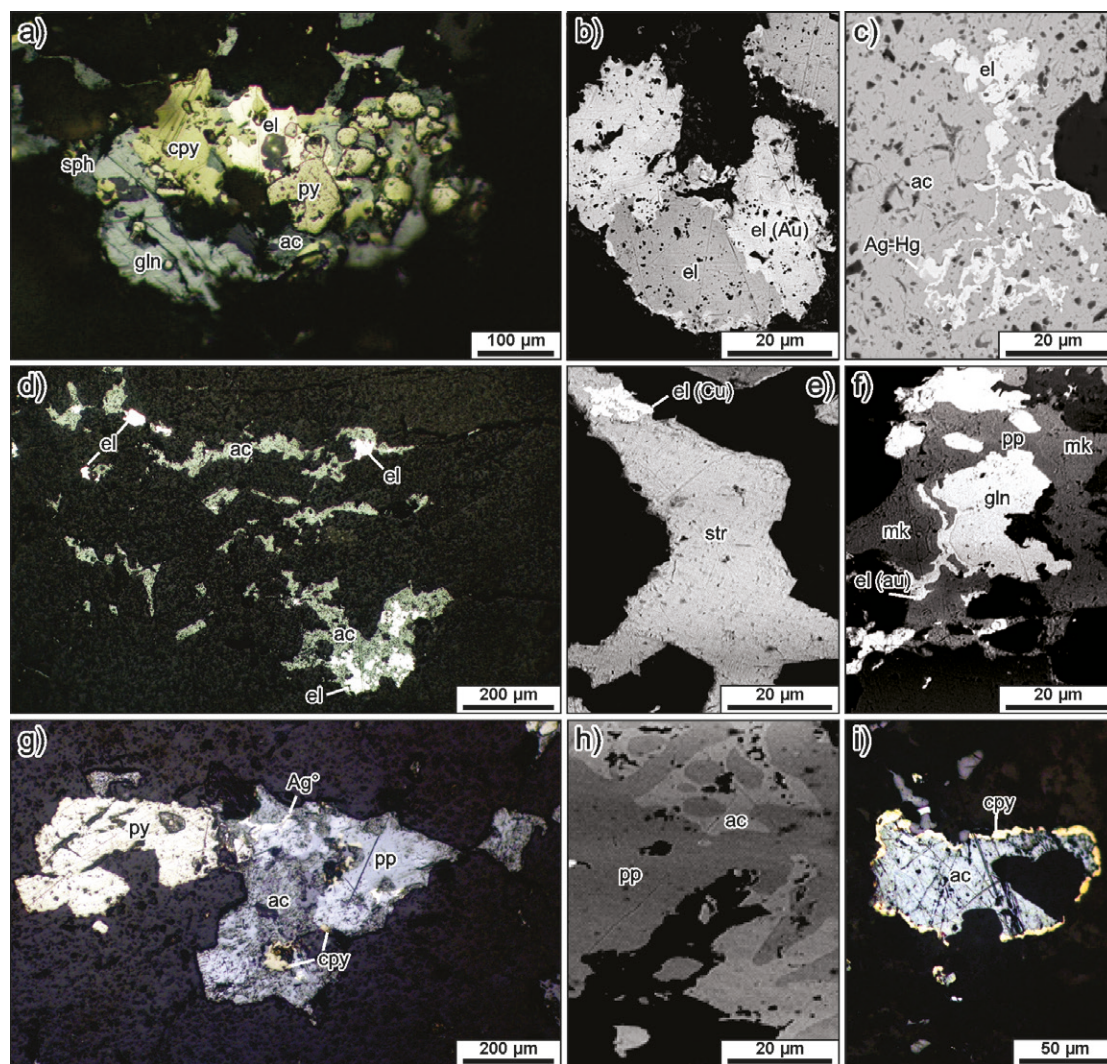


Figura 6: Fotomicrografías de minerales opacos de Eureka West; a) Paragénesis primaria del pulso 1 compuesta por electrum con pirita, calcopirita, esfalerita y galena, FLR; b) grano de electrum primario rico en oro, IE; c) Textura de reemplazo de electrum por acantita. En el contacto entre ambas fases se registra una amalgama de Ag-Hg, FME; d) Vetillas de acantita con electrum, FLR; e) Textura de reemplazo de electrum rico con Cu por stromeyerita, FME; f) Mckinstryita rodeando a sulfuros junto con electrum rico en Au, IE; g) Calcopirita dispuesta entre sulfosales de plata y acantita con plata nativa, FLR; h) Textura de reemplazo de polibasita-pearceita por acantita, IE; i) Textura de reemplazo de sulfosal de plata por acantita con un halo de calcopirita, FLR. Referencias: ac: acantita, Ag°: plata nativa; cpy: calcopirita; el: electrum (Au) rico en oro; gln: galena; mk: mckinstryita; pp: polibasita-pearceita; py: pirita; sph: esfalerita; str: stromeyerita; FLR: fotomicrografía con luz reflejada; IE: imágenes de electrones retrodispersados.

la solución sólida, con predominio de los contenidos más ricos en As (ver Anexo). El *Pulso 2* se caracteriza por restringidas brechas matriz soportadas de aspecto oqueroso, compuestas por una matriz de cuarzo blanco lechoso con variables cantidades de calcita, carbonatos de Fe-Mn y cloritas, en un entramado que deja cavidades ocupadas por cuarzo sacaroides y en peine, y óxidos de hierro (Figs. 4 y 5c). Las brechas contienen clastos de hábito tabular compuestos por un agregado fino de cuarzo y abundantes sulfuros incluyendo esfalerita, galena, acantita, calcopirita, pirita con inclusiones de electrum (20 µm) y algunos granos de electrum (20 a 50 µm) acompañados de acantita.

Episodio 2 (E2): Está conformado por 2 pulsos (*Pulso 3* y *4*) que tienen un amplio desarrollo a lo largo y en profundidad en

todo el clavo mineralizado, ocupando entre un 70 a 75% del mismo. En este episodio, el contenido de metales decrece producto de la disminución en el contenido de sulfuros dentro del bandeo.

El *Pulso 3* consiste en delicados bandeos coloformes-crustiformes con cocardas y cavidades drusiformes de cuarzo, adularia y sulfuros (Figs. 4 y 5d). El cuarzo registra variadas texturas de recrystalización como musgosa y esferas fantasmas, intercrecidas con agregados fibrosos-radiados de minerales aciculares de 1 mm de largo, conformando “ramilletes” a 45° que crecen de manera perpendicular al límite de la banda, interpretados como posibles reemplazos de ceolitas. Las bandas de cuarzo alternan con finas bandas de adularia rómbica (200 a 500 µm) parcialmente argilizada y escasa adularia tabular

asociada a óxidos de hierro. Hacia etapas finales predominan bandas coloformes blancas, lechosas, translúcidas y azuladas compuestas por calcedonia fibrosa, cuarzo con texturas en peine, plumosa, llameante y con cavidades drusiformes rellenas de calcedonia y/o carbonatos tardíos. Los minerales de mena corresponden a electrum y acantita diseminados entre las bandas de cuarzo.

El *Pulso 4* está compuesto por vetillas simétricas de 1 a 2 cm de espesor que cortan netamente a pulsos previos y a la roca de caja (Figs. 4 y 5e). Las vetillas están caracterizadas por un borde fino de cuarzo blanco con texturas de recrystalización de tipo llameante subesférica y hacia el centro, cavidades drusiformes de cuarzo en su variedad amatista junto a cuarzo con texturas sacaroides y en peine.

Episodio 3 (E3): Está conformado por el Pulso 5 de amplio desarrollo que corta los episodios previos y/o las rocas de caja. Está representado por finas vetillas de 1 a 2 cm de espesor, rellenas de calcita de aspecto masivo (Figs. 4 y 5e).

Episodio 4 (E4): Está compuesto por cuerpos de brechas de falla agrupadas en el Pulso 6. Las brechas atraviesan a los cuerpos mineralizados y se desarrollan principalmente hacia las paredes de la veta. Están compuestas por clastos subangulosos a subredondeados de pulsos previos, con tamaños que van desde centímetros a milímetros y con variable cantidad de matriz (Figs. 4 y 5f). La matriz está compuesta de cuarzo en mosaico con evidencias de cataclásis, óxidos de hierro (jarosita y hematita) y sulfuros. Estos últimos corresponden a pirita y acantita (\pm plata nativa asociada), escasa esfalerita y calcopirita. Además se observan granos de electrum diseminados en la matriz y/o en cavidades probablemente correspondientes a pulsos previos asociados a bornita y calcopirita. De manera póstuma se registran finas vetillas rellenas de óxidos de hierro que llevan pirargirita con plata nativa asociada.

Modificaciones supergénicas

Eureka West se caracteriza porque los minerales primarios han sido reemplazados parcial y/o totalmente por una nueva asociación mineral de origen supergénico que alcanza al menos los 350 metros de profundidad por debajo de la superficie actual (Permuy Vidal *et al.* 2014b). Esta asociación supergénica rellena cavidades y forma delgadas vetillas tardías cerca de superficie, mientras que en profundidad se manifiesta como reemplazos *in situ*. Está compuesta por oro nativo y electrum rico en oro, minerales de plata como acantita, plata nativa, mckinstryita ($(Cu, Ag)_2S$) - stromeyerita ($AgCuS$), pirargirita, una amalgama de Ag-Hg, covelina, calcopirita y calcosina, cuprita, malaquita y azurita, acompañados por óxidos de Fe-Mn, caolinita de baja cristalinidad (reemplazo de arcillas y adularia) y sulfatos secundarios (jarosita, argentojarosita y yeso).

En posiciones someras el electrum primario (50-60% Au en peso) generalmen-

te lleva un reborde de electrum rico en oro (80% Au en peso). También se presenta parcial o totalmente reemplazado por una asociación de acantita y electrum de grano grueso (50 μm a 0.8 mm) con un 60% de Au en peso promedio, y más raramente junto a una amalgama de Ag-Hg (Figs. 6 b, c, d). Covelina y calcosina aparecen como reemplazo parcial y/o total de calcopirita así como relleno de vetillas y cavidades junto a limonitas y escasa cuprita, malaquita y azurita. En profundidad, el electrum primario en ocasiones lleva contenidos de Cu, y está asociado a mckinstryita/stromeyerita, que se presenta como reemplazo de sulfosales de plata y a los sulfuros (Figs. 6 e, f). La polibasita-pearceíta también se presenta total o parcialmente reemplazada por parches de acantita con plata nativa dispuesta como un halo (Figs. 6 g, h). Asimismo, este reemplazo se asocia a una generación de calcopirita, dispuesta como un difuso y fino reborde en la acantita o como pequeñas masas irregulares en el contacto entre las sulfosales y la acantita (Fig. 6i). La acantita también forma rebordes corrosivos sobre granos de esfalerita, calcopirita y pirita.

De manera localizada, debido al bajo contenido de sulfuros ($<1\%$), estos procesos originaron la removilización y el enriquecimiento local de Ag y Cu (relaciones Ag/Au de hasta 1500:1), separando estos elementos de sus aleaciones con el oro, y removiéndolos de los sulfuros y sulfosales primarios. Estos tipos de asociaciones secundarias producto de procesos supergénicos en otros depósitos epitermales fueron descritas por Barton *et al.* (1978), Sheets *et al.* (1995), Greffie *et al.* (2002), Warmada *et al.* (2003) Chauvet *et al.* (2006) y Cocker *et al.* (2013).

Alteración hidrotermal

La distribución de las diferentes zonas de alteración hidrotermal identificadas en este trabajo se volcaron en la sección representativa Eureka 150W (Figs. 3a, b y 7a). De manera proximal a la veta y extendiéndose hacia el bloque alto, se desarrolla un halo de 25 a 50 metros donde predomina la asociación *adularia + cuarzo + illita/esmectita + clorita \pm epidoto \pm pirita*. Hacia el blo-

que alto y en posiciones someras aumenta la relación esmectita/illita. Solo una de las muestras analizadas por PIMA arrojó un patrón de illita. En esta zona la alteración oblitera parcialmente las texturas originales de la roca, caracterizada por reemplazos parciales de los fenocristales y de la pasta en las facies lávicas, así como también en todos los componentes de las rocas piroclásticas, próximas a la mineralización. Petrográficamente, se observaron reemplazos de feldespatos, rellenos de cavidades y diseminaciones en la pasta/matriz de adularia y cuarzo con illita/esmectitas de manera sobreimpuesta (Figs. 7a, b). Por su parte los minerales máficos se encuentran parcial y/o totalmente reemplazados por clorita, en ocasiones con epidoto asociado (Figs. 7a, c). Además, esta zona de alteración es acompañada de cantidades variables de pirita diseminada.

Hacia posiciones distales, incluyendo a los depósitos post-minerales, predomina la zona de alteración *esmectita-clorita \pm calcita* disminuyendo su intensidad mientras se aumenta la distancia hacia la veta, conservando las texturas originales de las rocas.

Finalmente, de manera sobreimpuesta se identifica una asociación conformada por caolinita de baja cristalinidad, óxidos de hierro y sulfatos secundarios (jarosita, argentojarosita y yeso), ocupa una posición próxima a la estructura principal, hasta los 350 metros de profundidad (Figs. 7a, d).

Inclusiones fluidas

En sistemas epitermales, las texturas de las inclusiones fluidas en cuarzo varían sistemáticamente, de manera que permiten mediante petrografía, predecir las condiciones de temperatura generales del fluido (Bodnar *et al.* 1985). En Eureka West predominan las texturas coliformes-crustiformes finas que llevan zonas oscuras debido a las abundantes inclusiones fluidas pequeñas y/o burbujas de aire que contienen, lo que dificulta obtener sus propiedades. Además, las modificaciones supergénicas descritas previamente han contribuido al bajo grado de preservación de las inclusiones fluidas. Sin embargo, fue posible obtener algunos datos en una

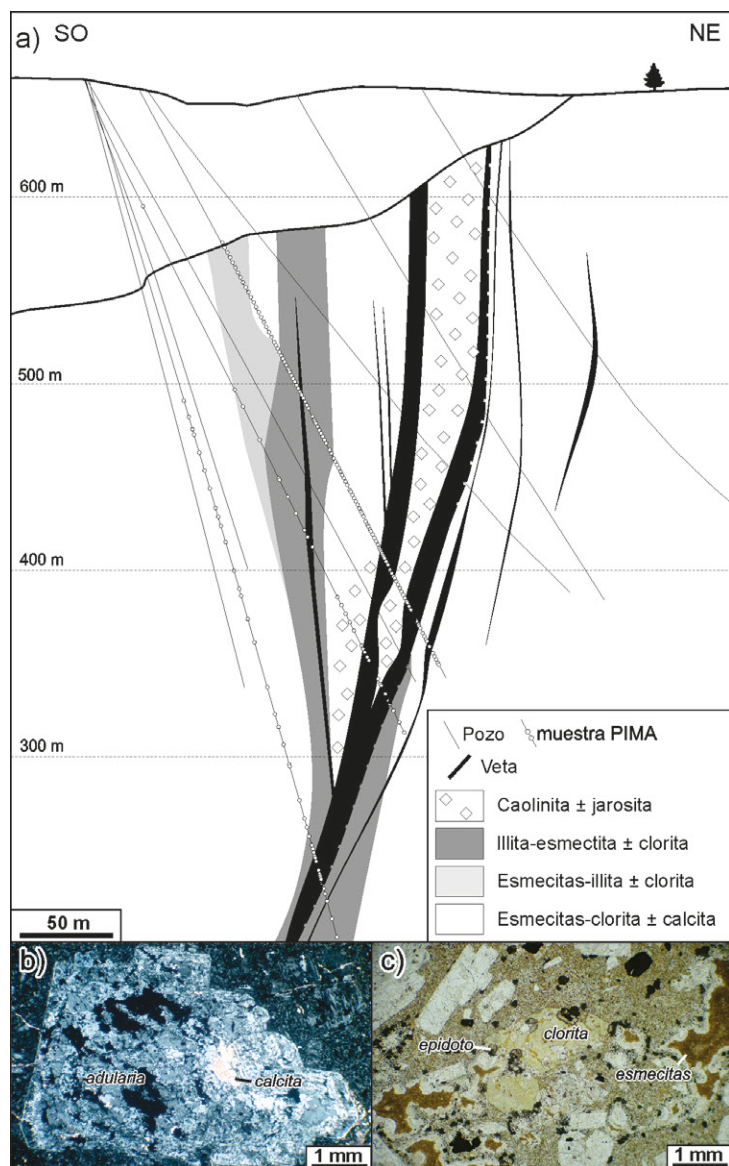


Figura 7: a) Distribución de las asociaciones de alteraciones hidrotermales interpretadas a partir de los datos de PIMA en perfil (ver Fig. 3a); b) Fotomicrografía de feldespato en andesita, reemplazado por adularia y calcita tardía; c) Fotomicrografía de minerales máficos en andesita, reemplazados por clorita y epidoto con esmectitas tardías en cavidades.

muestra correspondiente al pulso 1, en el extremo oeste de la veta y corresponde a una profundidad de ~150 metros. Se trata de un bandeo crustiforme-coloforme que se inicia con bandas más gruesas de cuarzo cristalino, adularia, platycalcita y sulfuros, hasta bandas finas con textura en mosaico. Las inclusiones fluidas fueron determinadas en cristales en equilibrio de adularia tabular y cuarzo cristalino. Las inclusiones primarias son bifásicas (90-95% líquido) con tamaños de 5 a 20 μm y morfologías rectangulares en cristales de adularia, y ovoidales en cuarzo

y platycalcita. Las temperaturas obtenidas promedian los 263°C con salinidades 0,35% NaCl eq. (Cuadro 2). Frecuentemente, se observan trenes de inclusiones secundarias líquidas y de vapor, como también alineaciones de inclusiones fluidas monofásicas ricas en vapor que cortan a los cristales (Fig. 8). Para los pulsos que conforman el episodio 2, no se pudieron obtener mediciones debido a que se trata de calcedonia y/o cuarzo recrystalizado, lo cual permite inferir bajas temperaturas (Bodnar *et al.* 1985).

Isótopos estables

Los isótopos estables en sistemas epitermales indican una componente de aguas meteóricas principal con mayor o menor participación de aguas magmáticas (Simmons *et al.* 2005). La naturaleza de estos fluidos se estima mediante el estudio de relaciones isotópicas de H y O y su comparación con distintos tipos de aguas naturales. El conocimiento de las características geológicas y de los fluidos permite evaluar con mayor precisión la interacción de los fluidos con las rocas encajantes y los procesos mineralizantes. El principal problema radica en que es muy difícil muestrear directamente al fluido (*e.g.* inclusiones fluidas), por lo que los datos obtenidos provienen de estimaciones derivadas de valores de referencia (*e.g.* minerales), asumiendo un serie de consideraciones.

En Eureka West, el cuarzo está mayormente recrystalizado con lo cual fueron seleccionadas adularias gruesas del Pulso 1 para la determinación de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$. Los resultados arrojaron valores de 7 hasta ~13‰ y de $\delta^{18}\text{O}$ calculado para fluido de 7,4 hasta 1,7‰ (Cuadro 3). Estos resultados se plotearon en el diagrama δO vs. δD junto con los valores previos obtenidos en cristales de cuarzo por Lopez (2006), y valores de referencia de depósitos epitermales del Macizo del Desierto (Shalamuk *et al.* 1997, Guido 2002, Moreira 2005), donde se registra una tendencia hacia el campo de aguas magmáticas en la muestra de adularia (Fig. 9).

Edad de la mineralización

Con el fin de obtener la edad próxima a la mineralización mediante el método Ar-Ar, se seleccionó una muestra rica en adularia del Pulso 1 compuesta por un bandeo crustiforme-coloforme de cuarzo, adularia y sulfuros. La muestra proviene de la parte central de la veta Eureka West y de unos 150 metros por debajo de la superficie.

Los resultados geocronológicos de Ar-Ar sobre cristales de adularia de la muestra 22376 procedente del Pulso 1, arrojan una edad *plateau* de $156,61 \pm 0,16$ Ma (Fig. 10; incluyendo el 93,7% del espectro), que

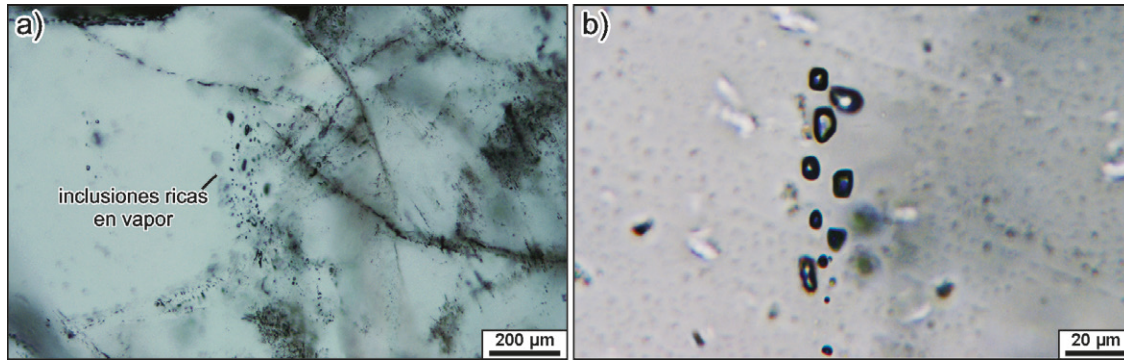


Figura 8: Fotomicrografías con luz transmitida en secciones bipulidas; a) Trenes de inclusiones secundarias ricas en vapor cortando cristales de cuarzo; b) Detalle de las inclusiones ricas en vapor.

CUADRO 2: Resultados microtermométricos del análisis de inclusiones fluidas para Eureka West.

Muestra	Mineral	Pulso	n	Tipo	Te (°C)	Th rango (°C)	Th promedio (°C)	Tm rango (°C)	Tm promedio (°C)	Salinidad (%NaCl eq.)	Observaciones
21626_1_1	Adularia	1	4	p	-	265-266	265,5	-	-	-	
21626_1_2	Cuarzo	1	4	p	-	258,1-263,8	260,9	-0,1	-0,2	0,35	
21626#2_1_2	Cuarzo	1		s	-	-		-0,1	-0,1	0,18	2 ^{rias} (LV+V)
21626#2_1_2	Calcita	1	>10	p	-20.8	-	-	-	-	-	2 ^{rias} (LV+V)

Referencias: Th: temperatura de homogenización; Tm: temperatura de fusión de hielo; Te: temperatura del eutéctico; p: primarias; s: secundarias; n: número de inclusiones medidas dentro de la familia.

Nota: Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a Bodnar y Vityk (1994)

permite ubicar a la mineralización en el Oxfordiano dentro del Jurásico Superior.

DISCUSIÓN

Los episodios y pulsos mineralizantes sumado a las modificaciones supergénicas descritas en este trabajo, permiten interpretar que el clavo mineralizado Eureka West se formó durante la evolución de dos eventos hidrotermales y una etapa tardía tectónica-supergénica (Fig. 11).

Evento hidrotermal de alta ley de Au-Ag

Comprende al primer episodio (E1) como principal portador de mineralización auroargentífera. La relación de Ag:Au es ~17:1, acompañados de Zn, Cu y Pb con una relación 1½:1:1, junto con elevados tenores de As. Se caracteriza por bandeados crustiformes y brechas en forma localizada, compuestas por cuarzo, adularia, calcita, carbonatos de Fe-Mn y sulfuros (<1%). El oro se encuentra como inclusión mecánica dentro de la pirita junto con esfalerita pobre en hierro, galena y calcopirita y/o como electrum

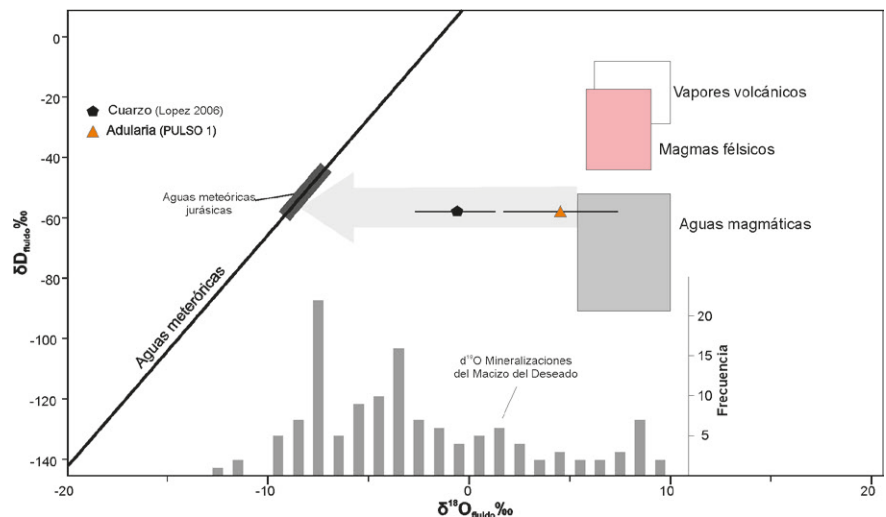


Figura 9: Diagrama isótopos estables (δD vs. $\delta^{18}O$) de los fluidos en equilibrio con adularia del pulso 1 y de cuarzo de pulsos posteriores obtenidos por Lopez (2006), (flecha gris indica tren evolutivo) comparado con datos isotópicos del Macizo del Deseado (Schalamuk *et al.* 1997; Guido 2002; Moreira 2005). Nota: las barras indican la variación de los valores para cuarzo y adularia. El valor de δD para las aguas meteóricas jurásicas fue tomado de Cravero (1991).

CUADRO 3: Valores de isótopos estables obtenidos para la veta Eureka West.

Muestra	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{18}O_{VSMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{fluido VSMOW}$ (‰)
21314	1	Adularia	adularia tabular gruesa	12.9	7,4*
15799	1	Adularia	adularia tabular gruesa	7.2	1,7*

* Según ecuación de Zheng (1993) a 260°C

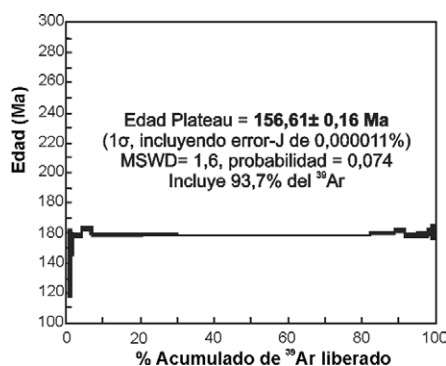


Figura 10: Diagrama de tipo *step wise heating* ^{40}Ar - ^{39}Ar con la edad obtenida para la muestra 22376 de adularia del pulso 1.

asociado a sulfosales de plata (polibasita-pearceíta y acantita). Los fluidos hidrotermales que dieron lugar a este evento alcanzaron temperaturas próximas a los 260°C y bajas salinidades ($<1\%$ NaCl eq.). La presencia de adularia, platycalcita, y la coexistencia de inclusiones fluidas líquidas y de vapor evidencia procesos de ebullición como mecanismo de depositación de los metales (Simmons *et al.* 2005, Roeder 1984, Bodnar *et al.* 1985). La presencia de epidoto y restos de illita como minerales de alteración indican temperaturas $>220^{\circ}\text{C}$ acordes a este evento (Simmons y Browne, 2000). A partir de la temperatura de homogenización determinadas se estima que su formación tuvo lugar a una profundidad de al menos 500 metros por debajo del paleonivel freático (Hass 1971), lo que indica que hubo al menos 150 metros de levantamiento y erosión hasta la actualidad. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos revelan un origen meteórico para el fluido aunque con un importante componente de origen magmático. La edad de $156,61 \pm 0,16$ Ma determinada para este evento, junto con los resultados isotópicos, permite vincularlo con la intrusión de los Pórfidos Andesíticos y Dacíticos (157-156 Ma), del final de la *Sección Inferior*. Algunas características de este evento hidrotermal de alta ley de Au-Ag se corresponden con las de los depósitos epitermales de tipo sulfuración intermedia (Hedenquist *et al.* 2000, Sillitoe y Hedenquist 2003, Simmons *et al.* 2005). Evento hidrotermal de baja ley de Au-Ag Este segundo evento se establece princi-

palmente durante el E2, alcanzando un amplio desarrollo tanto en Eureka West como a lo largo en toda la veta Eureka. Los contenidos de metales preciosos disminuyen, y predominan los bandeados coloformes de cuarzo con variadas texturas de recrystalización de sílice amorfa y/ calcedonia, y un contenido decreciente de adularia. Estas características texturales permiten inferir condiciones de temperaturas y profundidades inferiores de manera sobreimpuestas a la primera etapa hidrotermal de alta ley (Bodnar *et al.* 1985, Dong *et al.* 1995, Bobis *et al.* 1995). Asimismo, la temperatura de formación inferida a partir de los minerales de alteración representa las condiciones que prevalecieron durante la actividad hidrotermal, mientras que las temperaturas obtenidas de inclusiones fluidas reflejan períodos geológicos puntuales, durante el entrapamiento (Simpson y Mauk 2011). En este sentido, el predominio de illita-esmectita en una posición proximal y esmectitas de manera distal, sugiere temperaturas de entre 220° y 150°C para este evento hidrotermal (Simmons y Browne 2000). Las principales características de este evento están de acuerdo con una tipología de depósito epitermal de tipo baja sulfuración (Hedenquist *et al.* 2000, Sillitoe y Hedenquist 2003, Simmons *et al.* 2005). Finalmente, el E3 compuesto por calcita con un desarrollo localizado, se interpreta que forma parte del final de este evento y representa la presencia de aguas bicarbonatadas durante la disminución de la actividad hidrotermal (Simmons y Christenson 1994, Simmons *et al.* 2000). Se interpreta que este evento hidrotermal podría estar vinculado con el vulcanismo mayormente ácido correspondiente a la Sección Superior. La alteración hidrotermal que presentan estas rocas indica la continuidad del sistema hidrotermal. Otra evidencia de la continuidad de la actividad hidrotermal son los depósitos de hot spring de tipo travertino descritos por Guido y Campbell (2012) que están vinculados a domos riolíticos en el extremo sureste de la veta Eureka. La edad de este evento hidrotermal no se conoce para el área pero Dietrich *et al.* (2011) in-

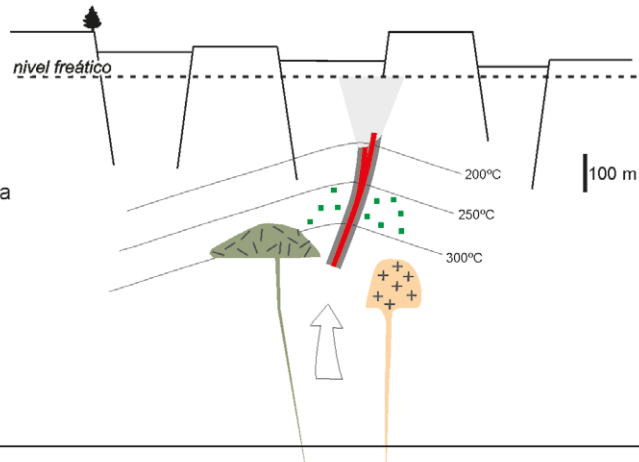
dican para rocas equivalentes a las de la Sección Superior en zonas aledañas, edades de hasta ~ 148 Ma.

Evento tectónico-supergénico

Finalmente, en las etapas finales, se sobreimpone un proceso tectónico (correspondiente al E4)-supergénico que afecta casi por completo a Eureka West. La presencia de abundantes brechas y vetillas rellenas principalmente de óxidos de hierro, sulfatos secundarios (jarosita, argentojarosita y yeso) y caolinita (de baja cristalinidad) sumado a la nueva asociación mineral supergénica (oro nativo y electrum rico en oro, minerales de plata como acantita, plata nativa, mckinstyrita-stromeyerita, pirargirita y una amalgama de Ag-Hg, minerales de cobre como covelina, calcopirita y calcosina, y ocasionalmente cuprita, malaquita y azurita) sugiere el accionar de aguas meteóricas ácidas generadas en la zona vadosa por la oxidación de sulfuros primarios (Hedenquist *et al.* 2000, Sillitoe 2005). La alteración sobreimpuesta compuesta por caolinita, óxidos de hierro (+ jarosita) es otra evidencia de este proceso. El descenso de estas aguas a niveles profundos (hasta los 300 metros de profundidad) se vio favorecido por la actividad de la falla principal que aloja a la veta Eureka a lo largo de su formación. Estos procesos removilizan parcialmente y de manera localizada, el Au, Ag y el Cu separando estos elementos de sus aleaciones con el oro, y removiéndolos de los sulfuros y sulfosales primarios, lo que por otra parte beneficia su posterior tratamiento metalúrgico (Corbett y Leach 1997, Sillitoe 2005). La edad de esta etapa tectónica-supergénica no se ha podido determinar, pero la falla principal posiblemente, ante cualquier reactivación tectónica, ha concentrado la deformación en la región. Ramos (2002) y Giacosa *et al.* (2008) indican que en el Macizo del Deseado han tenido lugar distintos ciclos tectónicos que van desde el Jurásico hasta el Mioceno. De esta manera, esta etapa tectónica-supergénica pudo haberse originado y/o modificado durante cualquiera de los ciclos mencionados.

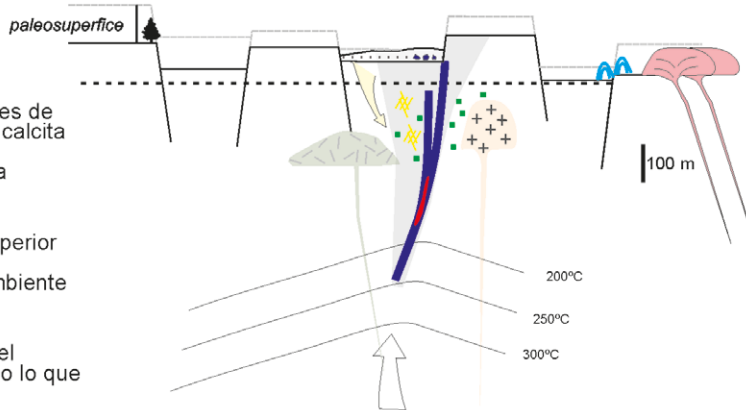
Evento de alta ley (Jurásico)

- Bandeados crustiformes de cuarzo, adularia, carbonatos y sulfuros (Episodio 1) con mineralización de $\text{Au-Ag} \pm \text{Zn, Cu, Pb}$
- Datado en 156 Ma este evento se vincula con la etapa póstuma del vulcanismo de la Sección Inferior (157 a 156 Ma).
- Fluidos meteóricos con aporte magmático. Temperaturas de 260°C y baja salinidades (<3% NaCl), con evidencias de ebullición (~500 metros de profundidad).
- Características de sulfuración intermedia



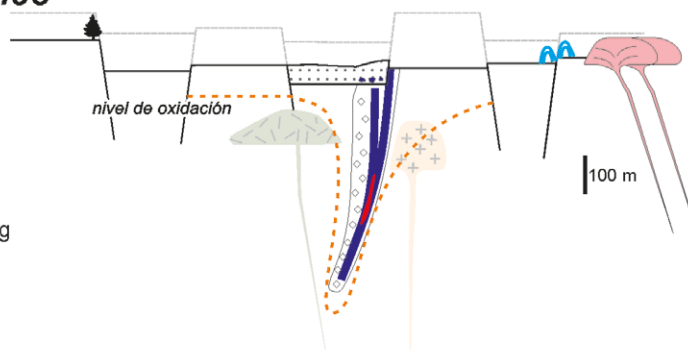
Evento de baja ley

- Brechas y bandeados de cuarzo coloformes de baja temperatura (Episodio 2) y vetillas de calcita (Episodio 3) rellenan la mayor parte de la estructura con contenidos metálicos bajos a estériles.
- Se asocia al vulcanismo de la Sección Superior (post 156 Ma) compuesta por depósitos volcanoclásticos y domos riolíticos en un ambiente geotermal *hot springs* asociados.
- Este evento representa una declinación del sistema hidrotermal y caída del nivel freático lo que favorece su erosión.
- Características de baja sulfuración



Evento Tectónico - Supergénico (Post Jurásico)

- Posibles reactivaciones a lo largo de la falla principal favorecen una oxidación hasta niveles profundos (400 m)
- Nueva asociación mineralógica supergénica sobreimpuesta que indica una removilización de Ag y Cu principalmente.



Tobas y tufitas	Travertinos	clorita ± epidoto	aguas bicarbonatadas
Domos Riolíticos	Episodio 3 (calcita)	caolinita	aguas cloruradas
Pórfido Dacítico	Episodio 2	illita-esmecitas	
Pórfido Andesítico	Episodio 1	illita + adularia	
Andesitas e ignimbritas dacíticas			

Figura 11: Modelo evolutivo para la formación del clavo mineralizado Eureka West.

CONCLUSIONES

Eureka West constituye el principal clavo mineralizado de la veta Eureka, con recursos que alcanzan los 2 Moz de Au equivalente, posicionándola como una de las estructuras mineralizadas de tipo epitermal más importantes del Macizo del Deseado y del mundo. El presente estudio, provee nueva información geológica y mineralógica así como también interpretaciones detalladas sobre las condiciones del fluido mineralizante, lo que permite reconstruir la historia evolutiva de un importante depósito epitermal. La mineralización de alta ley de Au-Ag tuvo lugar durante un primer evento hidrotermal con algunas características de sulfuración intermedia vinculado con el vulcanismo andesítico-dacítico entre los 157 y 156 Ma. Posteriormente, tuvo lugar un segundo evento hidrotermal de menor temperatura con características de baja sulfuración vinculado al vulcanismo de composición riolítica. Este evento tuvo un amplio desarrollo en toda la veta Eureka y con manifestaciones de tipo *hot springs* en superficie. De manera tardía, el clavo Eureka West fue parcialmente erosionado y cubierto por depósitos post-minerales jurásicos, como un evento único en el Macizo del Deseado. Consecuentemente, procesos tectónicos-supergénicos tardíos permitieron una profunda oxidación y reconcentración de los metales preciosos.

La ocurrencia de depósitos epitermales con características de depósitos de baja sulfuración y de sulfuración intermedia es frecuente en algunos depósitos del Macizo del Deseado y constituye una característica distintiva en esta provincia geológica (*e.g.* Schalamuk *et al.* 1999, Moreira 2005, Fernández *et al.* 2008, Wallier 2009, Paéz 2012), aunque la relación entre las dos tipologías mencionadas es comúnmente excluyente en la literatura (Hedenquist *et al.*, 2000, Sillitoe y Hedenquist 2003). De esta manera, en Eureka West se propone un modelo telescopado (*telescoping*, Sillitoe 1994) durante la evolución del sistema hidrotermal, como una superposición de estilos mineralizantes vinculado al cambios en el estilo del vulcanismo durante el Jurásico Superior, como un

ejemplo inédito en el Macizo del Deseado.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue llevado a cabo en el marco de la Tesis Doctoral cofinanciada CONICET-GOLDCORP del Dr. Permy Vidal. Los autores agradecen el apoyo económico y logístico por parte de la empresa, en especial a Gassaway Brown, Damián Echavarría, Analía Bruna y a todo el equipo geológico y técnico de Cerro Negro. Además se agradece la colaboración de los Dres. Sebastián Jovic, Gerardo Páez y María Eugenia Rodríguez.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Albison, T., Norman, D.I., Cole, D. y Chomiak, B. 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. *Society of Economic Geologists Special Publication* 8: 1-32.
- Barton, M.D., Kieft, C., Burke, E.A.J. y Oen, I.S. 1978. Uytendogaardtite, a new silver-gold sulfide. *Canadian Mineralogist* 16: 651-659.
- Bobis, R., Jaireth, S. y Morrison, G. 1995. The anatomy of a Carboniferous epithermal ore shoot at Pajingo, Queensland; setting, zoning, alteration, and fluid conditions. *Economic Geology* 90: 1776-1798.
- Bodnar, R.J., Reynolds, T.J. y Kuehn, C.A. 1985. Fluid inclusion systematics in epithermal systems. *Geology and geochemistry of epithermal systems*: In: Berger, B.R. y Bethke, P.M. (eds.) *Reviews in Economic Geology* 2: 73-97.
- Bodnar, R.J. y Vityk, M.O. 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. En: De Vivo, B. y Frezzotti, M.L. (eds) *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications*: 117-130. Black-sburg (VA).
- Chauvet, A., Bailly, L., Yré, A.S., Monié, P., Cas-sard, D., Tajada, F.L., Vargas, J.R. y Tuduri, J. 2006. Internal vein texture y vein evolution of the epithermal Shila-Paula district, southern Peru. *Mineralium Deposita* 41: 387-410.
- Cocker, H.A., Mauk, J.L. y Rabone, S.D.C. 2013. The origin of Ag-Au-S-Se minerals in adularia-sericite epithermal deposits: constraints from the Broken Hills deposit, Hauraki Goldfield, New Zealand. *Mineralium Deposita* 48: 249-266.
- Corbett, G.J. y Leach, T. 1997. Southwest Pacific gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. En: Corbett, G.J. y Leach, T. (eds) *Short course manual*, 225 p., Sydney. Disponible en www.corbettgeology.com.
- Corbett, G.J. 2012. Structural controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin* 56: 43-47.
- Dietrich, A., Gutierrez, R., Nelson, E.P. y Layer, P.W. 2011. Geology of the epithermal Ag-Au Huevos Verdes vein system and San José district, Deseado massif, Patagonia, Argentina. *Mineralium Deposita* 47: 233-249.
- Dong, G., Morrison, G.W. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland: Classification, origin and implications. *Economic Geology* 90: 1841-1856.
- Echeveste, H., Fernández, R., Bellieni, G., Tessone, M., Llambias, E., Schalamuk, I., Piccirillo, E. y De Min, A. 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico medio a superior) en el área de Estancia El Fénix-Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 548-558.
- Epstein S. y Mayeda T.K. 1953. Variations in the ¹⁸O/¹⁶O ratio in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4: 213-220.
- Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 1: 17-19, Buenos Aires.
- Fernández, R.R., Blesa, A.P., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietuk, K., de Palomera, P.A. y Tessone, M. 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 665-681.
- Giacosa, R., Zubia, M., Martínez, H., Fuentes, J. y Sánchez, M. 2008. Evolución estructural Meso-Cenozoica del Sector Oriental de la Región Del Deseado (68° 00' y 69° 30' O, 47° 00' Y 48° 30' S, Santa Cruz, Argentina). 17° Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 837-838, San Salvador de Jujuy.
- Greffé, C., Bailly, L. y Milési, J.P. 2002. Supergene Alteration of Primary Ore Assemblages from Low-Sulfidation Au-Ag Epithermal Deposits at Pongkor, Indonesia, y Nazareno, Peru. *Economic Geology* 97: 561-571.

- Guido, D.M. 2004. Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50: 727-742.
- Guido, D.M. y Campbell K.A. 2012. Diverse subaerial y sublacustrine hot spring settings of the Cerro Negro epithermal system (Jurassic, Deseado Massif), Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 229-230: 1-12.
- Haas, J. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology* 66: 940-946.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. R. y Gonzalez-Urrien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. En: Hagemann S.G. y Brown P.E. (eds) *Gold in 2000, Reviews in Economic Geology* 13: 245-277, Littleton.
- Lopez, R. 2006. Estudio Geológico-Metalogénico del área oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata (inédita), 226 p., La Plata.
- Ludwig, K.R. 2003. Isoplot 3.00 A Geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 4, 71 p., Berkeley.
- Páez, G., Ruiz, R., Guido, D. y Schalamuk, I. 2008. Historia del yacimiento argentífero Mina Martha, Macizo del Deseado, Santa Cruz. 17 Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 661-662, Jujuy.
- Pankhurst, R., Leat, P., Sruoga, P., Rapela, C., Marquez, M., Storey, B. y Riley, T. 1998. The Chon Aike province of Patagonia y related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Pankhurst, R.J., Riley, T.R., Fanning, C.M. y Kelley, S.P. 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia y the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the breakup of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Permuy Vidal C. 2014. Caracterización detallada de la mineralización en veta Eureka, y su comparación con otras mineralizaciones del Distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata, 275 p., La Plata. Disponible en <http://hdl.handle.net/10915/36121>.
- Permuy Vidal, C., Moreira, P., Guido, D. y Fanning, M. 2014a. Linkages between the Southern Patagonia Pre-Permian basements: New insights from geochemical data and detrital zircons U-Pb SHRIMP ages from the Cerro Negro District. *Geologica Acta* 12: 137-150. DOI: 10.1344/105.000002082.
- Permuy Vidal, C., Moreira, P. y Guido, D. 2014b. Modificaciones supergénicas en la mineralización del sector noroeste de la veta Eureka, Distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado. 19º Congreso Geológico Argentino, Actas: S6-15, Córdoba.
- Permuy Vidal, C., Páez, G., Guido, D., Jovic, S. y Ruiz, R. 2014c. Magmatismo y depósitos epitermales: el complejo volcánico-subvolcánico Eureka, Distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 19º Congreso Geológico Argentino, Actas: S6-9, Córdoba.
- Ramos, V.A. 2002. Evolución Tectónica. En: Haller, M. (ed) *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del 15º Congreso Geológico Argentino*: 235-387, El Calafate.
- Richardson, N.J. y Underhill, J. 2002. Controls on the structural architecture y sedimentary character of syn-rift sequences, North Falkly Basin, South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology* 19: 417-443.
- Riley, T.R., Leat, P.T., Pankhurst, R.J. y Harris, C. 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula y Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology* 42: 1043-1065.
- Roedder, E. 1984. Fluid inclusions. En: Ribbe, P.H. (ed) *Reviews in Mineralogy* 12: 644 p., Chantilly
- Schalamuk, I., de Barrio, R., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H. 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En: Zappettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.
- Shatwell, D., Clifford, J.A., Echavarría, D., Irusta, G. y Lopez, D. 2011. Discoveries of low-sulfidation epithermal Au-Ag veins at Cerro Negro, Deseado Massif, Argentina: SEG Newsletter 85: 16-23.
- Sheets, R.W., Craig, J.R. y Bodnar, R.J. 1995. Composition y occurrence of electrum at the Morning Star deposit, San Bernardino County, California: Evidence for remobilization of gold y silver. *Canadian Mineralogist* 33: 137-151.
- Sillitoe, R.H. 1994. Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. *Geology* 22: 945-948.
- Sillitoe, R.H. 2005. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits. En: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. y Richards, J.P. (eds) *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 723-768, Littleton.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid composition, and epithermal precious-metal deposits. En: Simmons S.F. y Graham I. (eds) *Society of Economic Geologists, Special Publication* 10: 315-343, Littleton.
- Simmons, S.F. y Browne, P.R.L. 2000. Hydrothermal Minerals y Precious Metals in the Broadly-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- Simmons, S.F. y Christenson, B.W. 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science* 294: 361-400.
- Simmons, S.F., White, N.C. y Jhon, D.A. 2005. Geological characteristics of epithermal precious y base metal deposits. En: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. y Richards, J.P. (eds) *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 485-522, Littleton
- Simpson, M.P. y Mauk, J.L. 2011. Hydrothermal Alteration and Veins at the Epithermal Au-Ag Deposits and Prospects of the Waitekauri Area, Hauraki Goldfield, New Zealand. *Economic Geology* 106: 945-973.
- Warmada, I.W., Lehmann, B. y Simyuntak, M. 2003. Polymetallic sulfides y sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia. *Canadian Mineralogist* 41: 185-200.
- Zheng, Y.F. 1993. Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. *Geochimical et Cosmochimica Acta* 57: 1079-1091.

Recibido: 15 de abril, 2015

Aceptado: 10 de diciembre, 2015